

LE PROJET "ÉCOCLINE" ET LE PROGRAMME PRIORITAIRE "ENVIRONNEMENT"¹

par Jean-Paul Theurillat^{2,3}, François Felber⁴, Patricia Geissler³, Antoine Guisan³ et Jean-Michel Gobat⁴

ABSTRACT

The project "Ecocline" and the priority programme "Environment"

The priority programmes of the Swiss Confederation, the programme "Environment" along with the module "Dynamic of the Environment", to which the project "Ecocline" belonged during the first phase of the programme (1993-1995), are briefly described. The project "Ecocline" studies the importance and the role of climate on bryophytes, vascular plants, and soils at the subalpine-alpine ecocline of the Alps, in the viewpoint of future climatic changes and their consequences. The aim of the project is to realise a model of the ecocline, and to follow the evolution of two sites of study in the Valais (Belalp and Val d'Arpette), of which the characteristics are given. Researches are centered on genetic diversity, phenology, reproduction biology, diversity, soils, in particular the organic matter, plant communities, landscape, and modelling.

ZUSAMENFASSUNG

Das Forschungsprojekt «Ökokline» und das Schwerpunktprogramm «Umwelt»

Die Schwerpunktprogramme (SPP) der Eidgenossenschaft, das SPP-U (Umwelt) wie auch das Modul «Umweltdynamik», dem das Projekt «Ökokline» in der ersten Phase des Programmes (1993-1995) angegliedert war, werden beschrieben. Im Projekt «Ökokline» werden Bedeutung und Rolle des Klimas auf Moose, Gefäßpflanzen und Böden entlang der subalpin-alpinen Ökokline untersucht, im Hinblick auf die

¹ Les informations suivantes ont été tirées de la revue *Prisma* publiée par le Fonds National suisse de la recherche scientifique, Berne (numéros 1993 et 1996), ainsi que des numéros 1 (1993) et 6 (1996) de la revue *Panorama*, publiée par la direction du Programme prioritaire Environnement, Berne.

² Centre alpin de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, CH-1938 Champex.

³ Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Case postale 60, CH-1292 Chambésy.

⁴ Institut de Botanique, Université de Neuchâtel, 22, ch. de Chantemerle, CH-2007 Neuchâtel.

prognostizierten Klimaveränderungen und ihre Folgen. Ziel des Projekts ist ein Modell der Ökokline zu erstellen und dessen Entwicklung in zwei Testgebieten im Wallis (Belalp und Val d'Arpette), deren Umweltbedingungen bekannt sind, zu verfolgen. Aspekte der genetischen Diversität, Phänologie, Reproduktionsbiologie, Diversität, Böden (besonders deren organische Bestandteile), Pflanzengemeinschaften, Landschaft und Modellisierung werden berücksichtigt. Erste Resultate (Diversität entlang des Höhengradienten, Phänologie, genetische Diversität, Modellisierung) werden vorgestellt.

INTRODUCTION

En 1991, le Conseil Fédéral proposa le lancement de programmes prioritaires de recherche en vue de développer davantage certains secteurs clés de la recherche et de la technologie et, simultanément, des centres de compétence, afin que la Suisse reste compétitive dans les domaines concernés, considérés comme étant d'intérêt général. Le principe ayant été accepté, les crédits nécessaires furent votés en 1992 par le Parlement et les programmes mis en place. Ces programmes prioritaires ont été conçus au départ comme des modules interconnectés, composés de projets coordonnés, pour une recherche à long terme (dix ans) où l'interdisciplinarité serait un point central. Au total, six programmes de recherche ont été établis avec un budget de 214 millions de francs pour la première phase 1993-1995:

- Environnement;
- Biotechnologie;
- Informatique;
- Electronique de puissance;
- Optique et optoélectronique;
- Matériaux.

LE PROGRAMME PRIORITAIRE " ENVIRONNEMENT " (PPE)

La première phase de ce programme (1993-1995) a été mis au concours en 1992 avec un budget de 38,7 millions de francs pour les sept modules suivants:

- Dynamique de l'environnement;
- Processus et cycles biogéochimiques;
- Biodiversité;
- Penser et agir dans le respect de l'environnement;
- Economie et environnement;
- Technologie et environnement;
- Développement et environnement.

La mise au concours fut couronnée de succès: 811 esquisses de projet furent soumises dans les délais. Sur ce nombre, 133 furent retenues et leurs auteurs invités à présenter un projet détaillé de recherche. Finalement, 120 projets furent acceptés. Pour le module qui nous concerne, "Dynamique de l'environnement", 138 projets ont été soumis sur lesquels 22 ont été retenus et 20 acceptés. Le module 3, "Biodiversité", fut le plus sollicité avec 187 esquisses soumises et 19 projets acceptés, tandis que le module 2, "Processus et cycles biogéochimiques" le fut le moins avec 8 esquisses soumises qui furent toutes acceptées en tant que projets. Pour les modules 4 à 7, les esquisses soumises ont variées entre 108 et 135 et les projets acceptés entre 16 et 22. La figure 1, établie sur

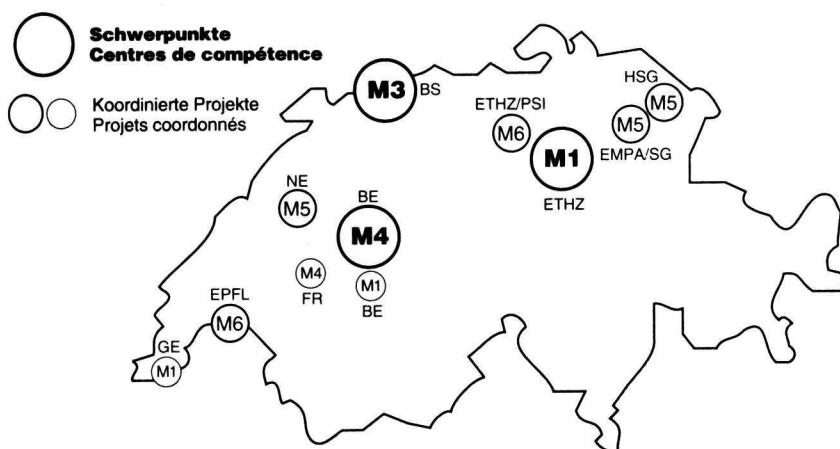


Figure 1. Répartition des projets coordonnés des modules 1 à 6 (M1-M6) du programme prioritaire "Environnement" dans les instituts de recherche de Suisse lors de la première phase du programme (1993-1995), avec mise en évidence des centres de compétences. (Repris de Panorama 1, 1993; Prisma 1993.)

BE: Université de Berne; BS: Université de Bâle; EMPA/SG: Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches, St.-Gall; EPFL: Ecole polytechnique fédérale de Lausanne; ETHZ: Ecole polytechnique fédérale de Zurich; FR: Université de Fribourg; GE: Université de Genève; HSG: Ecole des Hautes Etudes économiques, juridiques et sociales de St.-Gall; NE: Université de Neuchâtel; PSI: Institut Paul Scherrer, Villigen. *Distribution of coordinated projects of modules 1 to 6 (M1-M6) of priority programme "Environment" in the Swiss institutes during the first phase of the programme (1993-1995), priority centers being in evidence. (From Panorama 1, 1993; Prisma 1993.)*

BE: University of Bern; BS: University of Basel; EMPA/SG: Swiss federal laboratories for material testing and research, St.-Gall; EPFL: Federal institute of technology, Lausanne; ETHZ: Federal institute of technology, Zurich; FR: University of Fribourg; GE: University of Geneva; HSG: University of St.-Gall for business administration, economics, law and social sciences; NE: University of Neuchâtel; PSI: Institute Paul Scherrer, Villigen.

la base des projets acceptés, illustre la répartition dans les instituts de recherche des projets coordonnés et des trois centres de compétence désignés lors du démarrage du programme. La figure 2 illustre le réseau interdisciplinaire formé par les modules.

Dans cette première phase, le module “ Dynamique de l’environnement ”, doté d’un budget de 5,157 millions de francs, était constitué principalement de trois “ projets coordonnés ” (PC) et d’un projet individuel dont les thèmes étaient les suivants:

- Climatologie des radiations UV (P Individuel);
- Climat et environnement dans les régions alpines: climat et aspects sociaux (PC);
- Paléodynamique et dynamique actuelle de l’environnement (PC);
- Changements environnementaux et modifications de l’*écocline* subalpin/alpin (PC).

Les projets coordonnés réunissaient plusieurs projets individuels traitant des aspects d’un même sujet. Le projet coordonné “ Ecocline ”, qui sera détaillé ci-après, était constitué de cinq projets individuels.

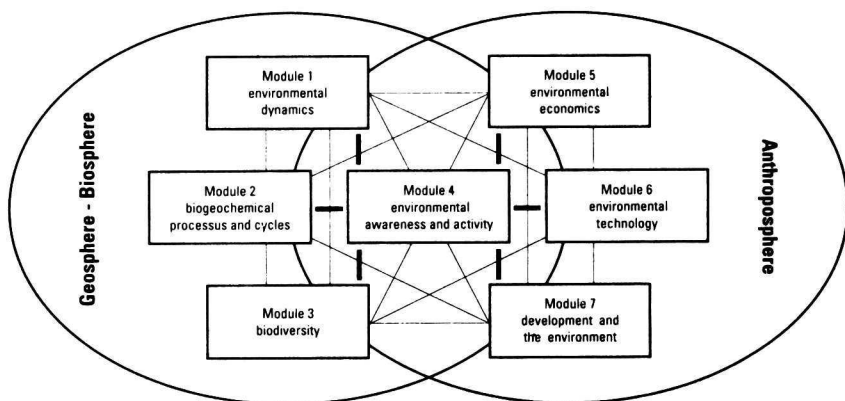


Figure 2. Le réseau interdisciplinaire formé par les modules 1 à 7 de la première phase du programme prioritaire “ Environnement ” (1993-1995). (Repris de Panorama 1, 1993.)
The interdisciplinary network formed by the modules 1 to 7 of the first phase (1993-1995) of the priority programme “ Environment ”. (From Panorama 1, 1993.)

DU MODULE 1 "DYNAMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT" AU PROJET INTÉGRÉ "CLIMAT"

La deuxième phase du programme (1996-1999) a été mise au concours en 1995 avec un budget réduit par rapport à la première phase (30,6 millions). Bien que la mise au concours ait été ouverte à de nouveaux projets, le nombre de requêtes soumises fut beaucoup plus faible que lors de la première phase. Sur les 196 projets proposés, 73 furent acceptés, dont 24 nouveaux. Les exigences pour qu'un projet puisse participer à la deuxième phase était, outre sa qualité scientifique, de contribuer fortement à un "réseau de recherche" conçu soit comme un

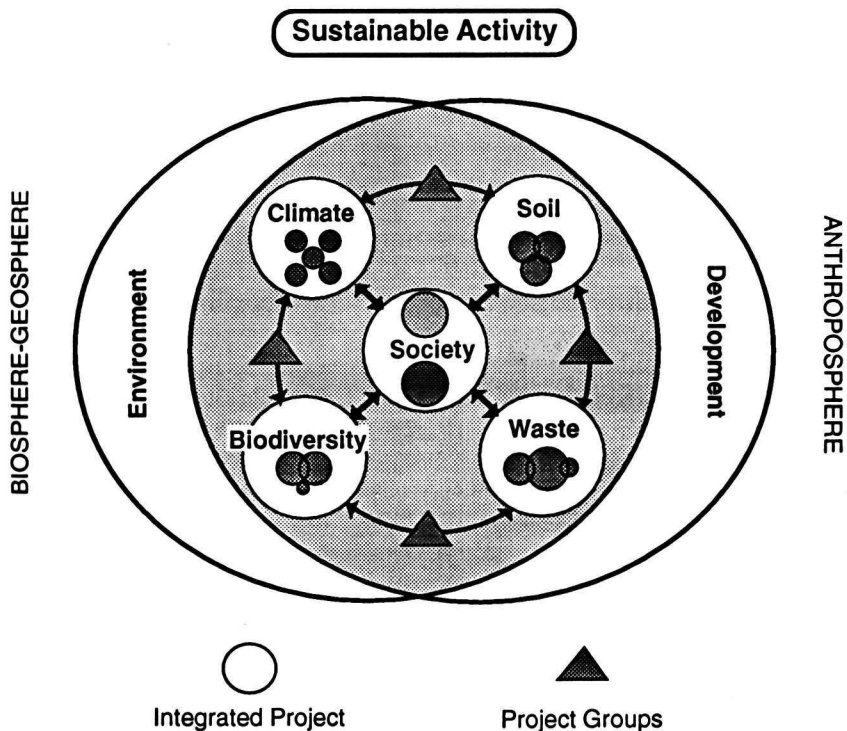


Figure 3. Les cinq projets intégrés et les quatre groupes de projets de la deuxième phase du programme prioritaire "Environnement" dans une approche transdisciplinaire. (Repris de Fiche d'informations, 1996, Programme Prioritaire Environnement, Berne.)

The five integrated projects and the four projects groups of the second phase (1996-1999) of priority programme "Environment" in a transdisciplinary approach. (From Fact sheet, 1996, Priority Programme Environment, Bern.)

" projet intégré " (PI), soit comme un " groupe de projets " (GP). Dans cette optique, plusieurs modules de la première phase forment maintenant un projet intégré avec des liens beaucoup plus étroits entre les projets. Par ailleurs, des " forums de discussion " relient certains projets intégrés entre eux. L'objectif du resserrement des liens entre les différentes disciplines est de passer de l'interdisciplinarité, qui caractérisait les modules dans la première phase du programme " Environnement ", à la transdisciplinarité, c'est-à-dire de dépasser, au sein du projet intégré, les frontières disciplinaires. Pour la deuxième phase, le PPE comprend cinq projets intégrés et un ensemble de quatre groupes de projets (Figure 3):

- Climat (PI);
- Biodiversité (PI);
- Société/Alimentation (PI);
- Sol (PI);
- Déchets (PI);
- Développement et environnement (GP).

Les forums de discussion sont au nombre de six, certains reprenant à un niveau élargi le thème de projets intégrés: pollution de l'air et santé, biodiversité, bilans écologiques, déchets, transdisciplinarité, synthèse-dissémination-valorisation.

Depuis la deuxième phase du PPE, la structure de l'ancien module 1 a fortement changé. Les projets coordonnés " Paléodynamique " et " Ecocline " ont été fusionnés au sein de l'unique projet intégré " Climat ", tout en gardant leur objectif principal. Les premiers résultats du projet intégré CLEAR sont présentés dans l'ouvrage *A view from the Alps: Regional perspectives on climate change* (CEBON & al., sous presse).

LE PROJET " ECOCLINE ": LES MODIFICATIONS CLIMATIQUES AUX ÉTAGES SUBALPIN ET ALPIN EN VALAIS

Le climat, et tout particulièrement la température, est un déterminant majeur de la distribution des écosystèmes terrestres. Il en résulte une zonation latitudinale de la végétation (biomes) de l'équateur vers les pôles. Cette zonation en fonction de la température est peut-être encore plus apparente dans les systèmes montagneux, avec la superposition des étages de végétation, car la zonation altitudinale est beaucoup plus sensible à la température que la zonation latitudinale. En effet, le gradient de diminution de la température avec l'altitude ($0,55^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) est approximativement 1000 fois plus important que le gradient latitudinal de

diminution de l'équateur vers les pôles sous les latitudes du domaine eurasiatique. Il en résulte ainsi une grande sensibilité des écosystèmes montagneux qui pourraient réagir rapidement à des changements climatiques à venir, avec des conséquences importantes sur la distribution des espèces, la diversité spécifique et écosystémique (BENISTON, 1994; GUI-SAN & al., 1995; OZENDA & BOREL, 1994).

Dans cette perspective, et en considérant également l'importance socio-économique des étages subalpin et alpin, outre leur importance biologique, plusieurs questions se posent (THEURILLAT & al., sous presse):

- Jusqu'à quel point le climat influence-t-il ces écosystèmes?
- Comment ces écosystèmes, et leurs compartiments, vont-ils répondre à un changement climatique?
- Quelle sera la vitesse de réponse de ces écosystèmes et de leurs compartiments?
- Quels seront les mécanismes de réponse?
- Pourra-t-on évaluer l'impact d'un changement climatique sur les écosystèmes alpins?

Buts du projet

Le projet coordonné " Ecocline " a été proposé dans le but de réaliser un modèle de la réponse de la végétation et des sols à la transition entre l'étage subalpin et l'étage alpin face à des changements environnementaux, principalement climatiques. D'autre part, il se propose de suivre concrètement l'ajustement à long terme de l'écocline subalpin-alpin aux changements environnementaux, à différents niveaux de complexité, à deux endroits en Valais, l'un au Val d'Arpette (Orsières) et l'autre à Belalp (Naters), dans la région d'Aletsch. L'objectif du projet est donc double:

- établir un modèle permettant d'évaluer la modification de l'écocline à l'aide des végétaux (" phyto-indicateurs"), et du sol (" pédo-indicateurs ");
- suivre à moyen-long terme un cas concret de l'ajustement des équilibres biotiques, et plus particulièrement des végétaux (cormophytes), vis-à-vis de la modification des paramètres abiotiques, notamment climatiques, provoqués par des changements environnementaux au sein de l'écocline subalpin-alpin.

Les projets de recherche

Dans la première phase du programme “ Environnement ”, le projet coordonné “ Ecocline ” était composé de cinq projets:

- changements environnementaux et modification de l'écocline subalpin-alpin: réaction de la couverture végétale (J.P. THEURILLAT);
- changements environnementaux dans l'écocline subalpin-alpin: réaction et bioindication des bryophytes (P. GEISSLER);
- modification de l'écocline subalpin-alpin: réaction du sol, notamment de sa fraction organique (J.-M. GOBAT);
- le polymorphisme génétique dans l'écocline subalpin-alpin: un indice révélateur des potentialités d'adaptation aux changements environnementaux (P. KÜPFER);
- cas particuliers de dérivation de scénarios bioclimatiques et de la sensibilité de la distribution des espèces (R. SPICHIGER).

Dans la deuxième phase du programme “ Environnement ”, l'aspect “ Ecocline ” du projet intégré “ Climat ” est représenté par deux projets:

- changements environnementaux et modification de l'écocline subalpin-alpin: impact sur la diversité et la distribution des plantes (J.-P. THEURILLAT);
- changements environnementaux et modification de l'écocline subalpin-alpin: variabilité génétique et potentiel d'adaptation d'espèces sélectionnées (F. FELBER).

Dans sa conception générale, le projet “ Ecocline ” recherche ainsi la réponse des végétaux à différents niveaux de complexité, de la population végétale aux complexes de végétation formant les grands ensembles paysagers, en passant par les différentes niches (synusies) au sein des communautés végétales particulières. La réponse des végétaux est particulièrement étudiée aux trois niveaux de complexité suivants:

- au niveau des populations, par des études génétiques, la biologie de la reproduction, la phénologie, l'analyse et la modélisation de la distribution d'espèces sélectionnées pour leur importance et leur sensibilité;
- au niveau des communautés et de leurs compartiments structuraux, les synusies, par des études pédologiques, phytosociologiques et la cartographie de la végétation);
- au niveau du paysage, par l'étude des complexes de végétation.

Il en résultera implicitement une connaissance approfondie des processus d'adaptation des végétaux, du fonctionnement et de la variation naturelle des écosystèmes subalpin et alpin, de la diversité végétale spécifique et infraspécifique, ainsi que des sols.

Quelques uns de ces aspects seront présentés ci-après pour quatre des cinq parties du projet (THEURILLAT & SCHLÜSSEL, 1997; GEISSLER & VELLUTI, 1997; FELBER & *al.*, 1997; GUISAN, 1997).

Caractérisation des sites

Deux transects d'étude ont été choisis en Valais, possédant des similarités et des différences, le premier à Belalp (région d'Aletsch) et l'autre au Val d'Arpette. Le principal point commun entre les deux transects réside dans le fait qu'ils sont tous deux situés sur silice et à des altitudes comparables. Ils diffèrent par leur mésoclimat (degré de continentalité), leur exposition, leur pente, la limite supérieure actuelle de la forêt, et leur utilisation passée et actuelle par l'homme. Dans chaque transect, plusieurs mesures de la température et des précipitations sont effectuées au niveau du micro- et du mésoclimat. Notamment, une station météorologique classique (thermohygrographe et totalisateur de précipitations), relevée mensuellement tout au long de l'année, a été installée en juillet 1993 dans chacun des deux transects.

Le transect de Belalp (région d'Aletsch, commune de Naters) correspond au versant est compris entre le Foggenhorn (2570 m) et le Hofathorn (2845 m), à l'ouest de Bääll. La limite inférieure est située à 1940 m, soit une dénivellation maximale de près de 900 m. Il s'agit d'une pente régulière (25-30°), essentiellement située sur gneiss, qui a été fortement soumise au pâturage du bétail autrefois (bovins, ovins), et qui l'est encore extensivement aujourd'hui. Du fait de l'utilisation intensive subie, il ne reste plus trace de végétation arborescente à l'étage subalpin supérieur. Plusieurs couloirs d'avalanches sillonnent le versant. Le reste de la région de Belalp a aussi été étudié pour les besoins de la modélisation de la distribution des espèces. Le degré de continentalité hydrique (index de Gams) à 1968 m s'élève à 52,8 pour les années 1994 et 1995.

La végétation est représentative des groupements typiques subalpins-alpins sur silice. Elle est dominée par des landes subalpines mésophiles à *Rhododendron ferrugineum* L., des landes subalpines mésothermophiles à *Rhododendron ferrugineum* L., *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Celak et *Calluna vulgaris* L., des landes subalpines-alpines cryophiles à *Empetrum hermaphroditum* Hagerup, *Vaccinium* spp. et *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv., des bas-marais subalpins (-alpins) à *Trichophorum cespitosum* (L.) Hartman, à *Carex davalliana*

Smith et à *C. nigra* (L.) Reichard, des nardaies subalpines, des pelouses subalpines-alpines à *Nardus stricta* L. et *Carex sempervirens* Vill., des pelouses mésophiles subalpines-alpines à *Agrostis schraderiana* Bech., des pelouses alpines à *Carex curvula* All.

Du point de vue des sols, la région de Belalp constitue un bel exemple d'une succession altitudinale "classique". A l'étage subalpin supérieur, les sols correspondent à des podzols humo-ferrugineux, notamment sous les landes et les nardaies, à l'exception des milieux humides où on rencontre des gleys réduits à tourbe mésotrophe. Dans la zone de transition subalpine-alpine et dans le bas de l'étage alpin, les rankers cryptopodzoliques remplacent les podzols humo-ferrugineux, tandis qu'à l'étage alpin supérieur, les pelouses à *Carex curvula* se trouvent sur des rankers.

Le transect du Val d'Arpette (massif du Mont-Blanc, commune d'Orsières) correspond au versant sud des "Clochers d'Arpette" (2814 m), sur la rive gauche du Val d'Arpette. La limite inférieure du transect est située à 1720 m, soit une dénivellation maximale de près de 1100 m. Il s'agit d'une pente rocheuse régulière (30-40°) sur granite, qui a été peu soumise au pâturage du bétail autrefois, et qui ne l'est plus du tout aujourd'hui. Du fait de cette utilisation très extensive, la végétation arborescente s'élève jusqu'à plus de 2400 m dans les parties rocheuses. Plusieurs couloirs d'avalanches sillonnent le versant. Si l'accent a été porté sur le versant sud, le versant nord n'est cependant pas exclu, et des observations parallèles y sont conduites. Le degré de continentalité hydrique (index de Gams) à 1860 m s'élève à 49,35 pour les années 1994 et 1995.

Contrairement au site de Belalp, la partie inférieure du transect (<2000 m) est occupée par de la forêt (pessière et forêts thermophiles à *Pinus cembra* L. et à *P. mugo* subsp. *rotundata* (Link) Janchen & Neumayer), en mosaïque avec une brousse à *Pinus mugo* subsp. *rotundata*. En dessus, on trouve des landes thermophiles subalpines-(alpines) à *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel, des landes mésothermophiles subalpines-alpines à *Vaccinium* spp. et *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Celak, des pelouses subalpines-alpines à *Carex sempervirens* Vill. et *Festuca puccinellii* Parlatores, ainsi que des pelouses (subalpines)-alpines à *Festuca scabriculum* subsp. *luedii* Markgr.-Dann.

Du point de vue des sols, le versant sud du Val d'Arpette est très différent de Belalp, d'une part parce que la podzolisation y est partout nettement moins marquée et, d'autre part, parce qu'on y rencontre en grande partie des sols de transition. A l'étage subalpin, les forêts, les brousses et les landes mésophiles occupent des podzols, alors que les landes subalpines thermophiles, les landes et les pelouses-landes mésothermophiles de la transition vers l'étage alpin et de l'étage alpin infé-

rieur occupent des sols bruns, avec une tendance podzolique augmentant avec l'altitude et sous les landes. A l'étage alpin, les pelouses à *Festuca scabriculmis* et les landines se développent sur des rankers.

RÉSUMÉ

Le projet "Ecocline" et le programme prioritaire "Environnement"

Les programmes prioritaires de la Confédération, le programme " Environnement ", de même que le module " Dynamique de l'environnement " auquel se rattachait le projet " Ecocline " dans la première phase du programme (1993-1995) sont brièvement décrits. Le projet " Ecocline " étudie l'importance et le rôle du climat sur les bryophytes, les plantes vasculaires et les sols de l'écocline subalpin-alpin des Alpes, dans la perspective de futurs changements climatiques et de leurs conséquences. Le but du projet est de réaliser un modèle de l'écocline et de suivre l'évolution des deux zones d'étude en Valais (Belalp et Val d'Arpette) dont les caractéristiques sont données. Les recherches sont axées sur la diversité génétique, la phénologie, la biologie de la reproduction, la diversité, les sols, en particulier de la matière organique, les communautés végétales, le paysage et la modélisation. Quelques résultats sont présentés (diversité altitudinale, phénologie, diversité génétique, modélisation).

Bibliographie

- BENISTON, M. (ed.). 1994. *Mountain environments in changing climates*. Routledge, London.
- CEBON, P., U. DAHINDEN, H. DAVIES, D. IMBODEN & C. JÄGER (eds.) (sous presse). *A view from the Alps: Regional perspectives on climate change*. MIT Press, Boston.
- FELBER, F., Z. GUI-FANG & P. KÜPFER. 1997. Etude de la variabilité génétique de la flouve alpine (*Anthoxanthum alpinum* A. & D. LÖVE) et du mélèze (*Larix decidua* Miller) dans l'écocline subalpin-alpin. *Bull. Murith.* 114: 179-185.
- GEISSLER, P. & C. VELLUTIT. 1997. L'écocline subalpin-alpin: approche par les bryophytes. *Bull. Murith.* 114: 171-177.
- GUISAN, A. 1997. Alplandi: évaluer la réponse des plantes alpines aux changements climatiques à travers la modélisation des distributions actuelles et futures de leur habitat potentiel. *Bull. Murith.* 114: 187-196.
- GUISAN, A., J. HOLTEN, R. SPICHIGER & L. TESSIER (eds.) 1995. *Potential ecological impacts of climate change in the alps and Fennoscandian mountains*. Conservatoire et Jardin botaniques, Genève.
- OZENDA, P. & J.-L. BOREL. 1994. Potential effects of a future global climatic change on the terrestrial ecosystems of the Alps. In: BOURJOT, L. (ed.) *The sensitivity of Alpine ecosystems to potential climate change*. Final report. Centre International pour l'Environnement Alpin (ICALPE), Le Bourget-du-Lac: 81-98.
- THEURILLAT, J.-P., F. FELBER, P. GEISSLER, J.-M. GOBAT, M. FIERZ, A. FISCHLIN, P. KÜPFER, A. SCHLÜSSEL, C. VELLUTI & G.-F. ZHAO (sous presse). Sensitivity of vegetation and soil ecosystems of the Alps to climate change. In: CEBON, P., U. DAHINDEN, H. DAVIES, D. IMBODEN & C. JÄGER (eds.) *A view from the Alps: Regional perspectives on climate change*. MIT Press, Boston.
- THEURILLAT, J.-P. & A. SCHLÜSSEL. 1997. L'écocline subalpin-alpin: diversité et phénologie des plantes vasculaires. *Bull. Murith.* 114: 163-169.